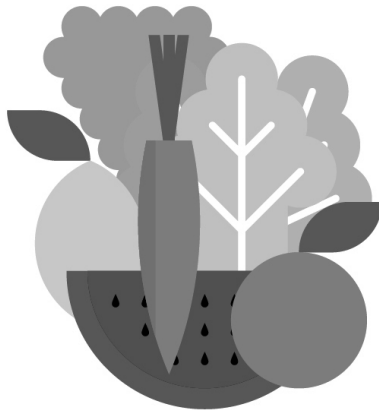


Avances en la Postcosecha de Frutas y Hortalizas

L. Zacarías, A.R. Ballester, J.F. Marcos y M.B. Pérez-Gago
(Editores)

Valencia del 21 al 23 de octubre de 2014



ISBN: 978-84-617-1950-1

Fundación Universidad-Empresa ADEIT

© del texto: los autores

Maquetación: COPIFORMES

Diseño Portada: Concierto Gráfico

Determinación de la calidad interna del kiwi mediante técnicas no destructivas: impacto e imagen hiperspectral.

E.C. Correa^{1,2}, B. Diezma¹, L. Lleó^{1,2}, A. Yommi³, X. Soto¹ y M. Ruiz-Altisent¹.

¹ Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TA-GRALIA). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria sn, 28040, Madrid. evacristina.correa@upm.es

² Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria sn, 28040, Madrid.

³ Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA. Ruta 226 Km 73,5 (7620), Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Resumen

El kiwi es un fruto con epidermis pilosa de color pardo-verdoso cuyo aspecto externo no sufre cambios significativos a lo largo del proceso de maduración. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de distintas técnicas no destructivas para la determinación de la calidad interna de kiwi. Se trabajó con frutos de pulpa verde (*Actinidia deliciosa*) ‘Hayward’ y de pulpa amarilla (*Actinidia chinensis*) ‘Hort16A’ y tres estados de madurez. Se realizaron determinaciones mecánicas y acústicas con el impactador lateral LPF y el equipo comercial AWETA, ambos para la estimación no destructiva de la firmeza, y se adquirieron imágenes con cámara hiperspectral (rango 400-1000 nm), como herramienta para la estimación global del estado de madurez del fruto. Se encontró que existe una correlación positiva y significativa ($0,94 \leq r_{\text{pearson}} \leq 0,97$) entre las variables Fuerza_{máx.} (impactador) y Frecuencia_{resonante máx.} (AWETA) con la Fuerza_{máx.} registrada en el ensayo de referencia ‘compresión con bola’ realizado sobre los mismos frutos con una máquina universal de ensayos. Las imágenes hiperspectrales permitieron evidenciar el distinto nivel de madurez de los frutos en evolución y dentro de cada lote e incluso en distintas zonas de un mismo fruto, apreciándose cierto patrón espacial común en la evolución de la madurez dentro de los frutos.

Palabras clave: técnicas mecánicas, técnicas acústicas, fruta, maduración.

INTRODUCCIÓN

El kiwi es un fruto con epidermis pilosa, resistente y de color pardo-verdoso. Esta epidermis confiere al fruto un aspecto externo que no sufre cambios significativos a lo largo del proceso de maduración y que incluso impide la expresión de daños o golpes a su través, lo que dificulta los procesos de clasificación ya sean realizados por inspectores humanos o por cámaras de imagen en el rango del visible (Lü y Tang, 2012). La firmeza de la pulpa es el parámetro que más afecta en el almacenamiento y comercialización del kiwi puesto que el ablandamiento del fruto está asociado a la senescencia y a la aparición de daños, siendo uno de los criterios que se utilizan para interrumpir el almacenamiento (Barboni et al., 2010; Hertog et al., 2004).

En la mayoría de los trabajos sobre calidad de kiwi se utilizan como referencia medidas de la firmeza de la pulpa mediante técnicas destructivas de penetromía o equipos no destructivos (Hopkirk et al., 1996; Wang et al., 2011). Las técnicas ópticas han sido utilizadas para evaluar diferentes parámetros de calidad interna de kiwi, como su firmeza y contenido en azúcares y ácidos mediante espectroscopia de reflectancia difusa en el dominio del tiempo (Valero et al., 2004) o imagen hiperespectral (408-1117 nm) para la identificación no destructiva de magulladuras y daños en kiwi (Lü y Tang, 2012). Otras técnicas de imagen como la imagen de resonancia magnética se han utilizado para supervisar el ablandamiento del fruto a lo largo del proceso de maduración (Taglienti et al., 2009). El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de tres técnicas no destructivas, impacto lateral, respuesta acústica a impacto e imagen hiperespectral como método para supervisar el ablandamiento del kiwi.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó con kiwis ZESPRI™ de pulpa verde (*Actinidia deliciosa*) ‘Hayward’ y de pulpa amarilla (*Actinidia chinensis*) ‘Hort16A’ comercializado como GOLD, utilizando 15 frutos de cada cultivar, de ‘calidad comercial’ procedentes directamente de central hortofructícola distribuidora. Con el objeto de forzar distintos estados de maduración, 5 frutos de cada cultivar fueron mantenidos 10 días en refrigeración en atmósfera normal a 0°C (clase 1 o C1), otros 5 se mantuvieron 5 días en refrigeración (0 °C) y 5 a 20 °C (clase 2 o C2) y los 5 restantes, se mantuvieron 10 días a 20 °C (clase 3 o C3).

Las determinaciones de referencia fueron la concentración en sólidos solubles (°Brix) de cada fruto, que se determinó mediante un refractómetro digital Atago PR-101, y la firmeza de la pulpa mediante dos test realizados en la máquina universal de ensayos Texture analyser TA-XT2: el ensayo normalizado Magness Taylor con probeta de 8mm de diámetro y el ensayo de compresión cuasi estática con bola de 20mm de diámetro hasta una deformación de 2mm. Las variables extraídas fueron fuerza máxima de penetración (F_{MT}) en N y fuerza máxima de deformación (F_B) en N, respectivamente. La determinación no destructiva de la firmeza se realizó mediante un sensor comercial, el dispositivo “Acoustic Firmness Sensor” (ASF de AWETA) que incorpora también un sensor de impacto; y un prototipo Impactador lateral LPF-TAGRALIA que registra las características de deceleración de una masa de 10g al impactar de forma controlada con la muestra (García-Ramos et al., 2005). El primero mide la respuesta acústica a un impacto de baja masa y la firmeza se estima a través de la variable F0 primera frecuencia

resonante (Hz). El segundo mide la respuesta a un impacto no destructivo, la estimación de la firmeza se realiza a través de la variable F_I fuerza máxima de impacto en N. Por otro lado para la estimación del estado global de madurez del fruto se adquirieron imágenes mediante un sistema de visión hiperespectral consistente en una cámara de tipo CCD (Andor Luca) equipada con un espectrógrafo Headwall Photonics HyperspecTM VNIR que trabaja en el rango espectral comprendido entre 400 y 1000 nm. Las imágenes de los kiwis se barren para adquirir su mayor dimensión con un ancho de 70 mm y una resolución espectral de 3,19 nm. A excepción de los °Brix, todas las determinaciones se realizaron en ambas caras de cada fruto, es decir, por cada cultivar y ensayo se realizaron 30 medidas.

Las imágenes hiperespectrales se trataron mediante una normalización para evitar el efecto de la convexidad del fruto. Posteriormente se seleccionó una población de calibración de espectros sobre las imágenes considerando sólo las clases extremas de evolución, C1 y C3. Sobre dicha población de calibración se aplicó la técnica de análisis multivariante PLS-DA. La proyección de las imágenes hiperespectrales correspondientes a las tres clases de calidad sobre el espacio discriminante formulado a partir de la población de calibración dio lugar a las imágenes virtuales mostradas en la Fig. 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra la variable de referencia F_{MT} que, según la clasificación propuesta por Wang et al. (2011), indicaría que la clase C1 con valores promedio de firmeza próximos a 6N se correspondería con frutos en estado de madurez de consumo, C3 con valores por debajo de 4N con el estado de sobremadurez, y C2 respondería a un estado de madurez intermedio. El análisis de varianza ANOVA realizado sobre las variables mecánicas de referencia F_{MT} y F_B (con $F=180,5$ y $F=192,0$, respectivamente; $p<0,05$) muestran que existe un efecto significativo del estado de madurez de los frutos sobre la firmeza de la pulpa en ambos cultivares, destacando una menor firmeza (Tabla 1) en los frutos C3 clasificados como sobremaduros. El mismo efecto significativo es constatado sobre las variables no destructivas F_0 y F_I con un resultado del ANOVA de $F=104,1$ y $F=147,1$ ($p<0,05$), respectivamente. Las variables F_0 y F_I se compararon con la variable F_B mediante un modelo de regresión lineal en ambas variedades de kiwi (Figura 1), mostrando que existe una correlación positiva y significativa ($0,94 \leq r_{\text{pearson}} \leq 0,97$) de las variables no destructivas con la variable de referencia.

En la Fig. 2, el rango de colores representa el valor que cada píxel adopta en el modelo PLS-DA. Tonos amarillos y rojizos se asocian a firmezas más altas. Los resultados de la imagen están en consonancia con los resultados obtenidos en los ensayos mecánico-acústicos, distinguiéndose claramente las clases C1 y C3. Se observa también variabilidad intrafruto. Resultados similares se obtuvieron para la variedad Hayward.

CONCLUSIONES

La alta correlación encontrada entre los dos dispositivos mecánico-acústicos ensayados evidencia el potencial de estas técnicas no destructivas para la determinación de la firmeza de los frutos de kiwi, con posibilidad de uso en líneas de empaque para lograr un eficiente proceso de

clasificación. La imagen hiperespectral ha mostrado también resultados consonantes con los de los ensayos mecánicos. Aunque las cámaras hiperespectrales todavía no están optimizadas para su adaptación a líneas de clasificación de productos hortofrutícolas, un estudio más profundo permitiría la identificación de las bandas del espectro electromagnético más relevantes para la supervisión de la madurez del kiwi, con el objeto de definir un posible equipo de visión multiespectral, con las ventajas sobre los equipos mecánico-acústicos de no requerir contacto con la muestra y de proporcionar una información global del estado de cada fruto.

REFERENCIAS

- Barboni, T., Cannac, M., Chiaramonti, N. (2010). Effect of cold storage and ozone treatment on physicochemical parameters, soluble sugars and organic acids in *Actinidia deliciosa*. *Food Chemistry*, 121, 946-951.
- García-Ramos, F. J., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Cañavate, J., Ruiz-Altisent, M. (2005). Non-destructive fruit firmness sensors: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3, 61-73.
- Hertog, M. L. A. T. M., Nicholson, S. E., and Jeffery, P. B. (2004). The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 31, 251-261.
- Hopkirk, G., Maindonald, J. H., and White, A. (1996). Comparison of four new devices for measuring kiwifruit firmness. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 24, 273-286.
- Lü, Q., and Tang, M. (2012). Detection of Hidden Bruise on Kiwi fruit Using Hyperspectral Imaging and Parallelepiped Classification. *Procedia Environmental Sciences*, 12, Part B, 1172-1179.
- Taglienti, A., Massantini, R., Botondi, R., Mencarelli, F., and Valentini, M. (2009). Postharvest structural changes of Hayward kiwifruit by means of magnetic resonance imaging spectroscopy. *Food Chemistry*, 114, 1583-1589.
- Valero, C., Ruiz-Altisent, M., Cubeddu, R., Pifferi, A., Taroni, P., Torricelli, A., Valentini, G., Johnson, D. S., and Dover, C. J. (2004). Detection of internal quality in kiwi with time-domain diffuse reflectance spectroscopy. *Applied Engineering in Agriculture* 20, 223-230.
- Wang, M. Y., MacRae, E., Wohlers, M., and Marsh, K. (2011). Changes in volatile production and sensory quality of kiwifruit during fruit maturation in *Actinidia deliciosa* 'Hayward' and *A. chinensis* 'Hort16A'. *Postharvest Biology and Technology*, 59, 16-24.

TABLAS

Tabla 1. Valores promedio y desviación típica (DT) de las variables de referencia F_{MT} (N) y °Brix, para cada categoría de frutos de *Actinidia*.

Cultivar	Categoría de firmeza	$F_{MT} \pm DT$ (N), n=10	°Brix $\pm DT$, n=5
‘Hort16A’	C1	5,7 \pm 0,7	17,4 \pm 0,4
	C2	5,2 \pm 0,6	17,5 \pm 0,4
	C3	1,6 \pm 0,2	17,5 \pm 0,4
‘Hayward’	C1	5,4 \pm 0,9	14,1 \pm 0,9
	C2	4,8 \pm 1,1	14,6 \pm 0,7
	C3	1,7 \pm 0,3	14,6 \pm 0,8

FIGURAS

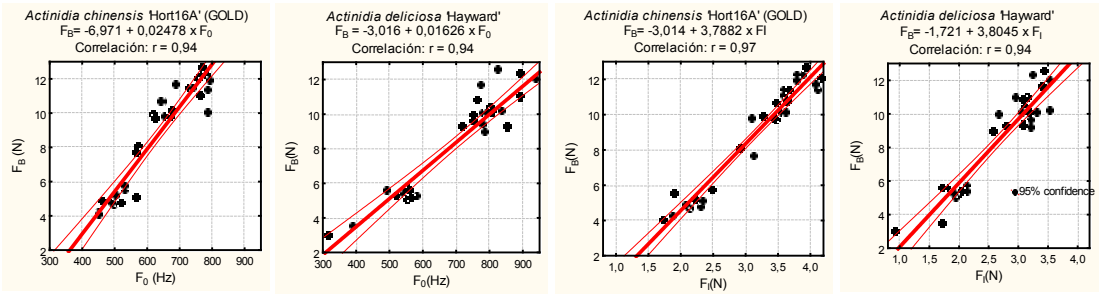


Fig. 1. Gráficas de correlación lineal entre las variables mecánico-acústicas de estimación de firmeza no destructiva con la variable mecánica de referencia ‘compresión con bola’.

II. Tecnologías de conservación postcosecha

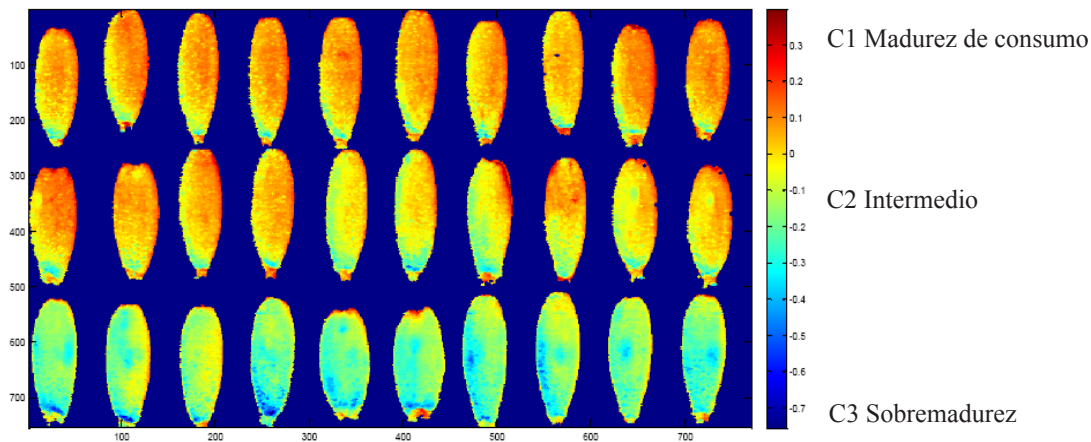


Fig. 2. Imagen virtual de evolución del estado de madurez de la variedad ‘Hort16A’ al aplicar los coeficientes del modelo PLS DA de los espectros normalizados, para tres estados de maduración con cinco variables latentes.